

ФАЗОВЫЕ И СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ, ПРОТЕКАЮЩИЕ ПРИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ, В ВЫСОКОПРОЧНОМ ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ

Степанов С.И.

Руководители – к.т.н. Илларионов А.Г.; к.т.н. Демаков С.Л.

ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
г. Екатеринбург
stepforw@mail.ru

В работе методами рентгеноструктурного фазового анализа, просвечивающей электронной микроскопии, дифференциального термического анализа исследованы фазовые и структурные превращения, протекающие при термомеханической обработке (ТМО) ($\alpha+\beta$) титанового сплава мартенситного класса BT16 (Ti-2,9Al-4,8Mo-5,1V-0,12 O₂, масс.%).

Исследование проводилось на прутках диаметром 12 мм, из которых были вырезаны образцы, прошедшие ТМО по режиму: закалка в воду с температуры 850 °С, холодная прокатка на степени деформации 9; 16; 31; 45%, старение при температурах 450, 500, 550 °С в течение 0,5; 1,5 и 3 часов.

В ходе работы установлено, что холодная деформация приводит к изменению фазового состава. Дифрактограмма недеформированного закаленного образца имеет вид, типичный для орторомбической решетки α'' -мартенсита. При прокатке происходит деформационно-индуцированный переход α'' -мартенсита в α' -мартенсит, причем минимальная степень деформации необходимая для такого перехода составляет 16%.

На дифрактограммах образцов деформированных на 16, 31 и 45% (рис. 1), обнаружено наличие слабых линий в районе углов, соответствующих линиям β -твердого раствора. Период решетки этой фазы аномально большой $>0,33$ нм, что выше значений встречающихся в титановых сплавах. Съемка проводилась в 2 направлениях: перпендикулярно и параллельно направлению прокатки, при этом не обнаружены другие линии, свидетельствующие о тетрагональном искажении решетки этой фазы. Проведенные опыты со старением в интервале температур 450-550°С показали, что фиксируемая аномальная фаза (β_a) достаточно стабильна и может сохраняться в структуре после нагрева до 550°С, правда непродолжительное время (до 0,5-1 часа).

Для того, чтобы выяснить соответствует ли эти линии β -фазе было проведено электронно-микроскопическое исследование закаленного и холоднотемпературнодеформированных на 16 и 45 % образцов на электронном микроскопе «JEM-2100».

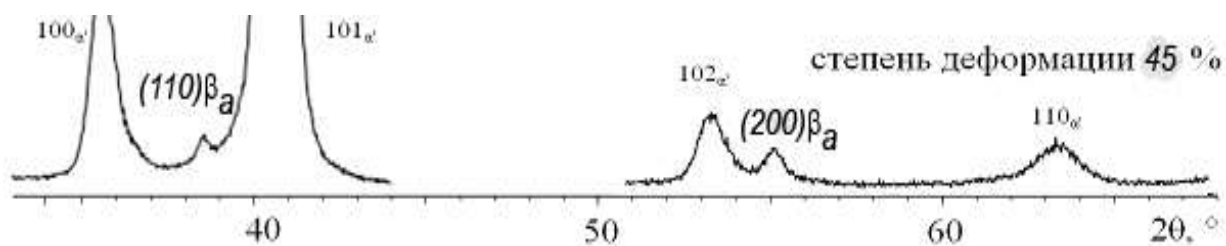


Рис. 1. Дифрактограмма образца деформированного на 45%

На рис. 2а приведена микроструктура и расшифрованная электронограмма, которые свидетельствуют о присутствии ОЦК-фазы, которая когерентно связана с α' -мартенситом, о чем говорит характерное двоение рефлексов. Следует отметить, что рефлекс $110_{\text{ОЦК}}$ расположен ближе к центральному рефлексу, чем 002_{α} , следовательно, как отмечено выше, ОЦК решетка имеет аномально высокое значение периода. В образце, деформированном на 45% β_a фаза сохраняется, что можно видеть при расшифровке соответствующих дифракционных картин (рис. 2б), причем по данным РСФА ее количество увеличивается с накоплением деформации.

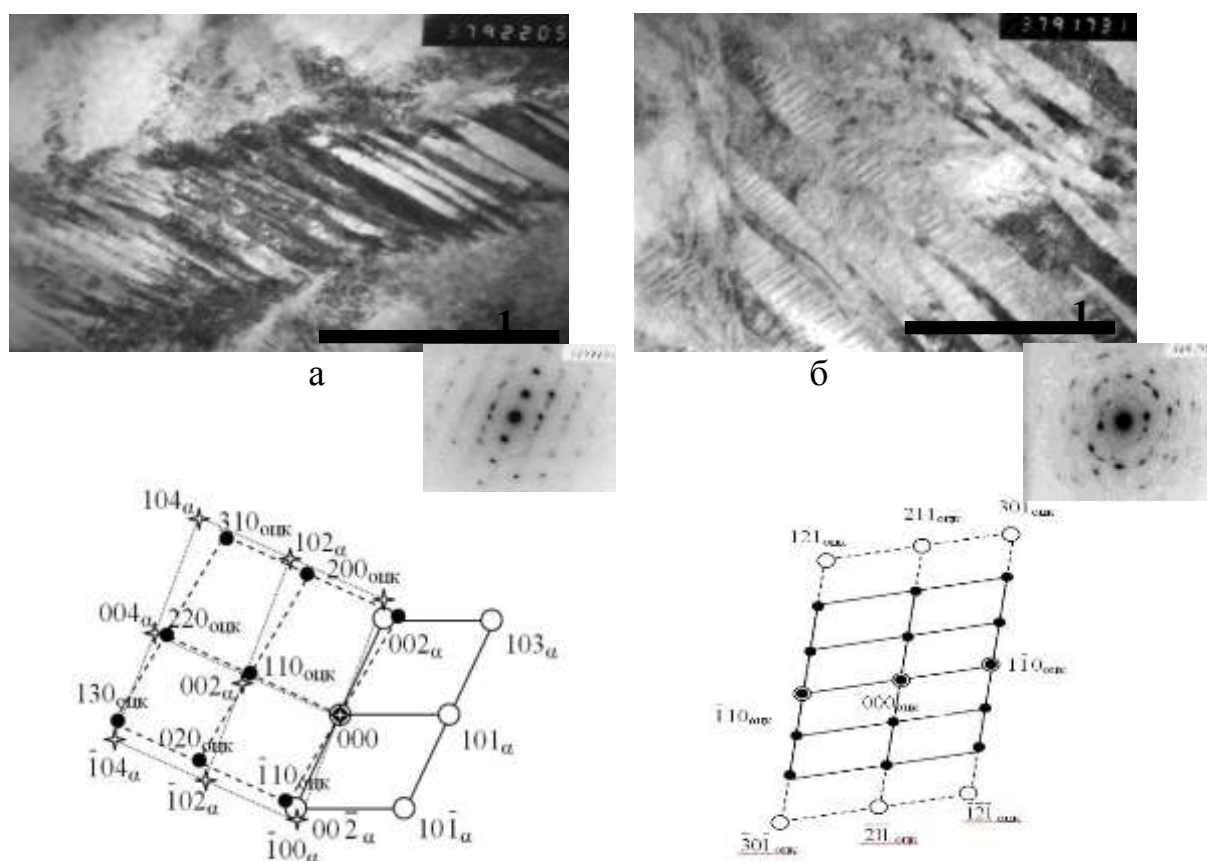


Рис. 2. Микродифракционные картины и схема их расшифровки сплава VT16 после закалки и деформации 16 % (а) и 45% (б)

При нагреве закаленного недеформированного образца на кривой ДСК (рис. 3.), проведенной в инертной атмосфере аргона со скоростью 20 °/мин. до

температуры 1100 °С, фиксируется два ярко выраженных эффекта до температуры полиморфного превращения; один экзоэффект в области температур 350...650 °С, который связан с процессом распада α'' (α')-мартенсита и один эндоэффект в температурном интервале 775...870 °С, который определяет протекание обратного $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ превращения.

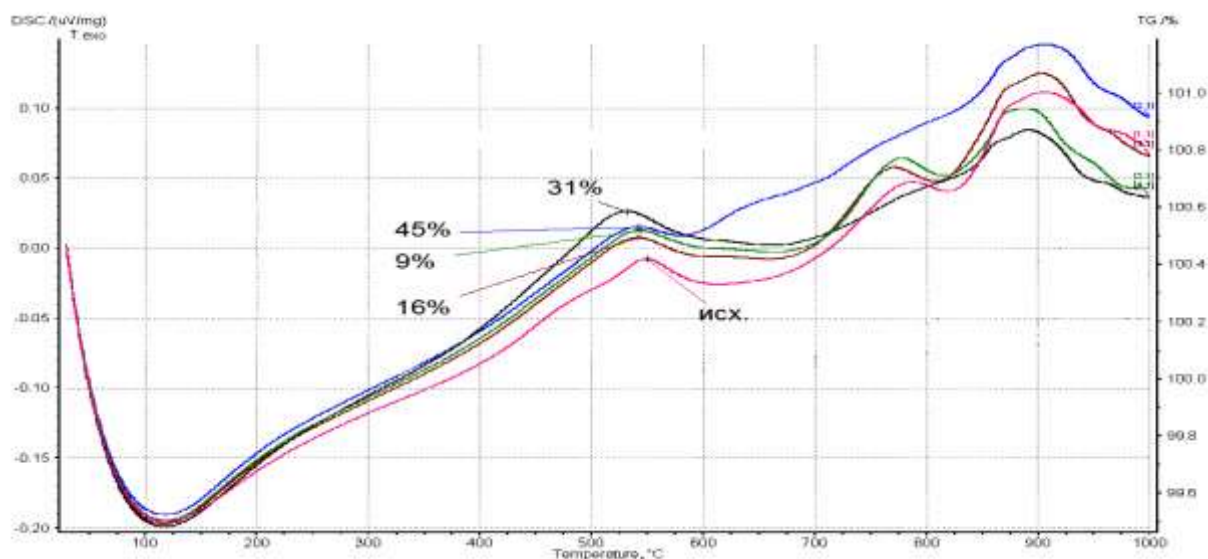


Рис. 3 Данные дифференциального термического анализа

Для образца после холодной деформации на 45% характерно не последовательное увеличение площади под экзоэффектом, а наоборот, уменьшение. Кроме того, и эндоэффект, связанный с обратным $\alpha + \beta \rightarrow \beta$ превращением у этого образца меньше, чем у закаленного и образцов после холодной деформации на 9; 16 %. На основании данных РСФА можно предположить, что причиной уменьшения экзоэффекта на кривых ДСК после деформации 45 % является уменьшение объемной доли метастабильных фаз, испытывающих превращение в интервале 400...650°С, за счет стабилизации новой фазы β_a . Вероятнее всего, при высоких температурах данная фаза по сути становится обычным β -твердым раствором и в результате этого эта фаза не дает вклад в тепловой эндоэффект при нагреве в однофазную область, что и является причиной снижения величины этого эффекта по сравнению с образцами в которых этой фазы нет. Исходя из того, что объем элементарной ячейки α'' -мартенсита больше, чем объем элементарной ячейки α' -мартенсита, можно предположить, что при деформационном превращении $\alpha'' \rightarrow \alpha'$ возникают области с растягивающими напряжениями, в которых непревратившийся α'' -мартенсит переходит в наблюдаемую аномальную β_a -фазу.

Работа выполнена в соответствии с Государственным контрактом Федерального агентства по науке и инновациям № 02.740.11.0160